

十九世纪中期以前的地磁学

宋 德 生

(桂林电子工业学院)

地磁学相对于静磁学来说具有更悠久的历史。由于地磁学与天文观察的密切关系,由于地球本身是一个大磁体,这种天造地设的条件使得地磁学较早地发展起来了。我们知道,静磁学诞生于1600年,电磁学诞生于1820年,但是地磁学是在什么时候诞生的呢?我们目前还未发现有一个统一的说法。不过,我们对于电磁学发展的时序还是有一个较为统一的认识:我国在公元前就开始了了对北极光的观察,公元十一世纪我国最早发现了磁偏角,十三世纪西方也提出磁偏角的概念,十六世纪开始了对磁倾角的观测,十七世纪开始了对地磁起源的研究,十八世纪开始了对地磁场强度的观测,十九世纪出现了地磁观察的国际合作局面。本文将对这些问题作一初步讨论。

一、对磁偏角和磁倾角的观测

由于航海和军事的需要,指南针得到广泛应用,磁偏角概念因此较早地形成了。我国科学家沈括在1086年、西方科学家 P. Peregrinus 在1269年先后发现指南针一般不是指向正南(北)方向,而是略向东(西)偏移。但这未引起人们注意,结果许多人认为磁偏角是哥伦布在1492年发现的,甚至有文献说是 F. Francisco 在1535年发现的^[1]。磁倾角的发现要晚一些, G. Hartmann 早在1544年发现磁倾角;1576年 R. Norman 也发现了磁倾角,并测得伦敦磁倾角为 $71^{\circ}51'$ 。至于地磁场强度,在十八世纪以前还没有人研究过。

W. Gilbert, (1540—1603)在1600年发表了《论磁体》一书,作为磁学的重要分支的地磁学进入了一个新时期。他发现,地球上各处磁

偏角呈现规律的分布,他用“磁变”(magnetic variation)一词表示磁偏角,意指磁针的指向因地而异。他建议航海家用磁偏角来确定海洋的经度。

H. Gellibrand 在《关于磁针的磁变的数学讲话》(1635年)一书中最先提出磁偏角长期磁变的概念, Gellibrand 指出磁偏角不仅是地域的函数,而且会随时间发生周期变化。他的理论在英国被称为“磁变之磁变理论”^[2]。前一个“磁变”系指磁偏角,后一个“磁变”系指磁偏角随时间的变化。

在磁变观测中作出卓越贡献的较早的科学家有 G. Graham, 他在1722年2月至5月间对磁偏角的周日、周日变化进行过近千次观测,发现磁针北端从早晨七、八点钟后逐渐西移,直到中午才停止,然后东移,到夜间停止,翌日清晨又开始西移;磁针最大偏西角 $14^{\circ}35'$,最小偏西角 $13^{\circ}50'$ 。后来, A. Celsius 和 P. G. Wargentin 在1750年, J. Canton 在1750—1759年间,对磁偏角的周日变化也进行过许多观测,肯定了 Graham 的发现。J. D. de Cassini 根据自己长期观察否定了周日磁变的原因是太阳的辐射热的传统看法。1791年,他在《论磁针的偏角和磁变》一书中,又把磁偏角的周年变化与地球相对于太阳的位置联系起来。但是他的研究为法国资产阶级大革命所打断^[3]。

1806年,洪堡等人在柏林对磁偏角、磁倾角的周日变化也进行过观测,记录了数千个数据。在他们的影响下, D. F. Arago 在1820—1825年间于巴黎天文台又测得数万个磁偏角数据。1827—1828年间,他对磁偏角和磁倾角的周日变化及地磁场强度进行过统一的观察,发现了磁倾角周日变化的规律。1827年12月

13日,他给洪堡的信上说:“磁倾角在上午清晨六点钟比傍晚六点钟要大”。这是对磁倾角周日变化规律的较早的发现。另外,他还发现地磁场强度的周日变化极小,而它的水平分量的周日变化较大,他认为那是由于磁倾角周日变化所导致的结果^[4]。

二、对地磁场强度的测量

地磁场强度概念的形成和对它的测量,是十八世纪地磁学的显著标志。

法国在十八世纪开展的远洋探险和测地活动有助于法国地磁学家考察各地的地磁场情况。N. L. Feuille 在 1702—1712 年间于南美洲沿岸进行的经度测量, N. L. Lacaillée 在 1750 年于南非进行的区域广泛的磁偏角和磁倾角的测量,以及 L. A. de Bougainville 在从 1766 年开始的环球航行中对地磁要素的测量等,都为地磁场强度测量准备了条件。1769 年, J. Mallet 最先测量了地磁场强度,但由于测量仪器粗糙,以致在纬度相差 7° 的圣彼得堡和 Ponoï 两地未发现地磁场强度有所不同。因此就有人提出地球上磁场强度处处相等^[5]。J. C. Borda 对此持怀疑态度,1773 年他促使法国科学院就设计一种最佳的测量地磁场强度的仪器的课题悬奖。1776 年,他亲自在纬度相差 35° 的巴黎、土伦等四处测量地磁场强度,但由于磁针的轴承摩擦力太大,仍然未发现地磁场强度有所差异。随后,他通知法国各远洋船队随时把测得的各地的磁场强度数据送回法国。大约在 1788 年, R. Lamanon 从澳门发回的地磁资料,证明地磁场强度的确因地而异。

1777 年,库仑设计了一种丝悬磁针,并建立了悬丝的扭力公式。库仑的丝悬磁针为地磁测量提供了一种新方法——磁针振荡测磁法。这种方法是根据强度与磁针振荡周期的平方的反比关系来确定地磁场的强度,是一种动力学的方法。另外,也可以依据库仑扭力定律,从丝悬磁针的参数及其偏转角求出该地的磁场强度,这是一种静力学测磁方法。这些方法为地

磁场强度的绝对测量和磁学量的绝对单位的引入开创了有利局面。库仑因此荣获法国科学院 1773 年的悬奖^[6]。这项工作后又导致库仑扭力秤的发明(1784)和库仑定律的发现(1785)。

1798—1804 年间,洪堡在南美洲进行了地质、地磁、气象、海洋、矿物和植物的综合考察。他在考察中测量记录了三百余个磁偏角和磁倾角数据,初步确定了磁赤道位置^[7]。他最先将磁赤道的磁场强度定义为单位 1,在 1820 年以前,各国地磁学家参照他的单位来确定各地的地磁场强度的数值。

1804 年 8 月 24 日,毕奥和盖-吕萨克进行了第一次乘气球测量高空磁场的活动,他们的丝悬磁针在 4,000 米高空平均每 70 秒钟振荡 10 次,而这根磁针在地面平均每 141 秒钟振荡 20 次,这反映高空地磁场强度与地面的十分接近,从而否定了地磁场强度随高度而减弱的观点。同年 9 月,盖-吕萨克在洪堡鼓励下又单独乘气球升至海拔 7,016 米的高空,仍未发现地磁场强度有所下降。

1804 年 12 月 17 日,毕奥宣读了与洪堡合写的地磁学论文——《不同纬度上地磁的变化》^[8],总结了地磁场强度随纬度递增的规律。毕奥负责论文的数学部分,他假设地磁是由一个位于地心的磁偶极子产生的,磁偶极子垂直于磁赤道所在平面,其长度与地球直径相比可以忽略不计。这个假设本身含有等倾角线与磁赤道平行的几何含义。毕奥由此推导出,

$$\tan \theta = 2 \tan \lambda, \quad (1)$$

$$I = \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda}, \quad (2)$$

式中 θ 表示磁倾角, λ 表示磁纬度, I 为地磁场强度。式(1)定义了磁纬度,式(2)将地磁场强度表示为磁纬度的函数。不难看出,根据毕奥公式地磁极的磁场强度等于磁赤道的两倍,这是毕奥理想化条件的结果。事实上当时还未找到地磁极,他的公式较为符合从磁赤道到北纬 30° 的区域,因为他的主要依据是洪堡于 1802 年在磁赤道附近和他本人在 1804 年在阿尔卑斯山脉的测量数据。洪堡和毕奥这篇论文的价值在于:它将磁纬度和磁倾角联系起来,在

原来只有等磁偏线的地磁图上增加了磁纬线,另外,它只承认地球有两个磁极,否定了哈雷的四磁极假说。

三、关于地磁起源和地磁极

我国是世界上最早发现和利用磁石的國家。公元前七世纪的《管子·地磁篇》就有了关于磁石的记载。公元前239年的《吕氏春秋·精通》中又记有:“慈(磁)石召铁,或引之也”。东汉的王充更精辟阐述了磁和电的相似性,其名句“顿牟缀芥,磁石引针”历来为人们所熟诵。与此相适应的是磁石的广泛应用,磁石治病、司南和指南针等等,都最早出于我国古人之手^[9]。

随着人类认识的深化,自然会提出“磁石为何能引针、磁针何以能指南(北)”的问题。要正确解释这个问题谈何容易!有人错误地提出磁针指向力来自北极星的说法,哥仑布就是其中之一^[10]。

派勒格令尼在1269年写的《关于磁体的信》(未公开发表),引进了“磁极”(polus)一词,最先提出了磁石具有极性的概念。他告诉人们用磁针来寻找磁石球的磁极,具体做法是:用磁针找出磁石球的子午线,这些磁子午线汇聚于球面上两点,它们便是此球的南极和北极。遗憾的是他未能把磁极的概念引伸到地球,而是假设引导磁针指向的磁极镶在天穹的两端^[11]。除此错误外,他的成功之处在于:(1)提出了磁偏角和磁子午线的概念;(2)提出了关于磁体的极性概念和关于磁体的“同(极)性相斥、异(极)性相吸”的原理,这比C. F. Dufay发现的电的“同性相斥、异性相吸”原理(1733)要早四百余年。

最早提出地球有磁极、磁针指向力来自地磁极的是Gilbert。他在《论磁体》(1600)中说:“Martinus Cortesius赞成宇宙世界万物没有根源的思想,胡思乱想天外有一个吸引磁体的点作用于磁体。派勒格令尼主张磁力方向由天极产生……我们要把所有磁运动和它的定律、位置、构成、指向、赤道、水平线、子午线、周界线、半径

和地球内部全部物质的形式联系起来考虑”^[12]。

可以说,这是人类科学地考察地磁起源和地球磁极的第一个宣言。

1683年,英国天文学家哈雷发表了《磁罗盘的磁变理论》^[13],提出了四磁极的地磁构造假说。他认为,地球分内核和外壳层,中间夹着流动物质;内核和外壳分别绕自己的轴旋转,内核的速度高于外壳。根据他的假设,地球有四个磁极,两个磁北极分别位于地角(land's end)子午线离地理北极7°和加利福尼亚子午线离地理北极15°的两地,两个磁南极分别位于伦敦东120度的子午线离地理南极20°和伦敦西95°的子午线离地理南极16°的两个地方。

哈雷当时认为他的四磁极假说能够解释磁偏角周日变化和长期变化,他引用了伦敦和巴黎两地一百多年的地磁偏角的记录来支持他的看法。1698年、1699年和1702年,他三次乘船在大西洋上进行地磁考察,结果绘制了第一张较精确的具有等磁偏线的地磁图。虽然四磁极假说是错误的,但他对磁变的观察却有许多可取之处。哈雷在世时已觉察到这一点,诚如他所说:“我们所希望要做的一切,是要在我们死后留下一个可以信赖的观察,和提出一个可以让后人审查、修改或者甚至被推翻的假说”。

十八世纪不少地磁学家绘制了许多地磁图,最突出的要数J. Churchman。他在1794年发表的地磁图把等磁偏线延伸到两个地磁极。他假设两个地磁极分别位于北纬58°格林威治西134°和南纬58°格林威治东165°的两个地方。现在尚不知道他根据什么来否定哈雷的四磁极假说,不过在他之前已经有人认为地球只存在两个地磁极,他就是大数学家尤拉的儿子A·尤拉^[14]。

1811年,丹麦科学院就地磁构造问题悬赏,C. Hansteen以其论著《关于地磁的考察》^[15](1819)获得了这次科学奖。他的地磁理论实为哈雷四磁极理论的复活。他认为南、北半球各有两个磁极,其中三个由西向东旋转,另一个由东向西旋转,这样就引起了磁偏角的周期变化。1825年他绕巴芬湾航行到芬兰,力图找到磁北

极,但未成功。1828—1830年间,他到西伯利亚考察地磁,认定那里至少有一个磁北极。虽然他的理论与毕奥在1804年提出的理论相冲突,但由于他身体力行地开展了高纬度地区的测磁活动,使他在当时的地磁学界仍享有崇高的威望。

在1820年后不久,J. Herschel根据塞贝克温差电效应设想地球表面和空气的接触会产生出一种大气电,由此导致了地磁现象。这种假想很快就被安培的电动力学的地磁起源假说(1827)所取代。安培认为,地磁是由在地壳下面绕一固定轴旋转的带电流体所产生的。他将地磁场的根源从本质上简化为电流的思想跟他将一切电磁的和静磁的现象归化于电流的电动力的做法如出一辙。显然,安培的地磁理论也承认地球仅有两个磁极,它宛如一根通电螺线管只有南、北两极那样。

1838年,高斯在《地磁学的一般理论》一书中指出,地球是按照任意状态分布的无限个磁体的集合,地球表面任何一点的磁势可表示为一个球函数的无穷级数,他根据当时欧洲地磁观测网提供的数据计算出这个级数的前面24项的系数,他因这项工作获得了伦敦皇家学会1838年的Copley奖章。

以上所述均属于地磁起源的假说或理论。最先深入北极海域并找到磁北极的是J. Ross。他于1829—1833年间随其叔父在北极航行时,于1831年6月1日在北纬 $70^{\circ}15'17''$ 西经 $96^{\circ}45'48''$ 的地方发现磁针的倾角几乎达到了 90° ,他因此宣布发现了磁北极。磁南极的发现要更晚些,直到1909年1月才被澳大利亚探险家E. David和D. Mawson所发现。

四、对极光的观察

关于极光,我国有最早而且又最丰富的记载,《汉书·天文志》里说:“建始元年九月戊子,有流星出文昌,色白,光触地,长可四丈,大一围,动摇如龙蛇行。有顷,长可五、六丈,大四围,所诎折委屈,贯紫宫,西在斗西北子、亥间,

物理

后诎如环,北方不合,留一刻所”。建始元年九月戊子即公元前32年10月24日。从此时起到十世纪止,我国记载过极光145次^[46]。这些记载为地磁学和天文的日地观察提供了宝贵的第一手资料。

西文中的“北极光”(aurora borealis)一词是由法国科学家P. Gassendi在1621年引进的,但是他对北极光未作深入研究。西方迟至十八世纪才开展卓有成效的极光观察活动。1741年,O. Hiöter发现北极光能够影响磁针的偏角。1778年,H. Usher发现北极光产生的放电弧处于磁子午面内。不久,J. Robison进一步发现,北极光严重影响磁针的偏角,致使针尖(北端)西移,“这种扰动有时多达六、七度,当北极光最显著时,一般可看到[偏角]达到最大值”^[3]。

1793年,道耳顿在《气象观察和评论》中总结了他在Kendal和Keswich两地长达七年的观察,指出,极光呈现彩虹一般的弧形,但覆盖面积很大,光带垂直于磁子午线,而光线方向与磁倾角平行^[47]。

1806年,洪堡在柏林观察发现,极光会剧烈扰动磁针,他称这种现象为“磁暴”。他总结出这样的规律:磁暴一旦发生,极光随即降临。

1816—1817年间太阳黑子爆发,北极光明显南移,有时在巴黎上空都能出现。阿喇戈在他的观察日记上写道:“2月6日,大约在傍晚6点钟,一道美丽的北极光在巴黎上空出现。我们通过直接观察判定光弧顶部处于磁子午面内”^[3]。1825年,他与圣彼得堡科学院的A. Kupffer分别在巴黎和喀山两地(经度相差 47°)对极光和磁暴进行了同时异地观察,这使洪堡认识到,一个全球性地磁观察活动是必要的,这种设想导致了1830年代地磁观测的国际合作。

五、地磁观测的国际合作

对极光的同时异地观测和广泛的航海测磁

活动打开了十九世纪地磁观测的国际合作的局面。1818年, E. Sabine 随 J. C. 罗斯的船队经“西北通道”进入北极, 在那里进行了地磁测量; 同年, L. Freycinet 在环球航行中于低纬度地区检验了毕奥的地磁场强度公式。1822年, 在 D. D'urville 的环球航行中, L. I. Duperrey 在 220° 的经度范围内测量了洪堡于 1802 年确定的磁赤道上磁场强度和磁倾角, 结果发现在这条磁赤道上的磁场强度并非处处相等, 磁倾角也不都等于零^[1]。这就提出了一个问题, 即到底用地磁场强度等于 1 的连线表示磁赤道(洪堡方法)、还是用磁倾角为零的连线表示磁赤道更合理。历史发展的结果是后者取代了前者。随着巴黎天文台在地磁学领域日益取得了支配地位, 从 1820 年后欧洲各国相继取巴黎的地磁场强度为 1, 而洪堡原来定义的地磁场强度单位被换算成小于 1 的数值。

1828 年, 洪堡在柏林主持召开了德国科学大会, 请来高斯共商建立全欧地磁观测网大计。1832 年, 高斯在韦伯协助下完成了磁学论文——《化为绝对量度的地磁强度》, 提出了磁学量的绝对单位。1834 年, 高斯和韦伯组织起以哥廷根为中心的欧洲磁学协会, 负责统一欧洲地磁观测网的活动, 属于这个网的共有 16 个地磁观测站, 分布在从都柏林到彼得堡、从乌普萨拉到卡塔尼亚的广大区域内。

Sabine, G. Airy 等人制订了一个所谓“磁十字军”(magnetic crusade) 计划^[18]。这项计划包括两项内容, 一是组织南极考察队, 到那里进行地磁观测; 二是在大英帝国的殖民地广泛建立地磁观测站。“磁十字军”计划在 1839 年 3 月得到英国政府批准。同年, 英国海军部任命 J·C·罗斯率船队开往南极, 该船队于 1841 年 1 月进入南极大陆架海域——罗斯湾, 罗斯凭磁针倾角判断磁南极就在前方, 但由于冰障阻碍使他们无法到达南极。后来, 他们在南纬 76 度以南的水域看见了美丽的南极光。

按照“磁十字军”计划, 英国在国内和海外殖民地建立了庞大的地磁观测网。截至 1840

年, 属于该网的地磁站分布于格林威治、都柏林、多伦多、圣赫勒拿岛、好望角、万的门斯地、马德拉、西姆拉、新加坡和孟买等地。后来, 欧洲大陆、俄罗斯帝国的亚洲部分和北京等十个地磁站, 哈佛、费城、麻省的三个观察站以及开罗观测站也相继加入了英国的地磁网, 使它成为一个国际性地磁网。这个国际性地磁观测网在十九世纪中期起了十分重要的作用, 最突出的事例是 1851 年它们通过协同观测发现了极光和磁暴的规律与黑子活动周期的关系, Sabine 在此基础上提出了地磁场强度是由两个叠置磁变构成的著名论点, 其中一个来自地球磁场, 另一个来自地球外的星体, 特别是太阳的磁场^[19]。

参 考 文 献

- [1] P. F. Mottelay, *A Bibliographical History of Electricity and Magnetism*, Griffin, London, (1922), 590.
- [2] *ibid*, p. 177.
- [3] J. Cawood, *Ann. Sci.* 34(1977), 551.
- [4] E. Walker, *Terrestrial and Cosmical Magnetism*, Cambridge Press, (1886), 66.
- [5] see ref. [3], note 9.
- [6] C. S. Gillmor, *Coulomb and Evolutions of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France*, Princeton, New Jersey, (1971), 140.
- [7] K. R. Biermann, *Dict. Sci. Biogr.*, Charles Scribners and Sons, New York, Vol. 6 (1972), 549—555.
- [8] A. von Humboldt and J. B. Biot, *Journal de Physique*, 59 (1804), 429.
- [9] 李国栋, *物理*, 3(1974), 342; 李国栋, *生物化学和生物物理学进展*, 3(1978), 39; 李国栋, *自然杂志*, 2(1978), 520.
- [10] see ref. [1], p. 56—66.
- [11] E. Grant, *Dict. Sci. Biogr.*, Charles Scribners and Sons, New York, Vol. 10 (1974), 532—540.
- [12] W. Gilbert, *De Magnete*, (1600), Trans. by P. F. Mottelay, London, (1893); Dover Edition, (1958), p. 177—183.
- [13] E. Halley, *Phil. Trans.*, 13 (1683), 208.
- [14] see ref. [1], p. 214, 315.
- [15] C. Hansteen, *Untersuchungen über den Magnetismus der Erde*, Christiania, (1819).
- [16] 郑文光, 席泽宗, *中国历史上的宇宙理论*, 人民出版社, (1975), 18.
- [17] see ref. p. 307—308.
- [18] J. Cawood, *ISIS*, 70(1979), 493.
- [19] E. Sabine, *Phil. Trans.*, 141 (1851), 123.